中華農業研究（Jour. Agric. Res. China）37(2)：151～164（1988）

轉作田玉米生育特性及肥培管理

Ⅱ 播植行深犂及肥料深施之效果[1]

連 深[2]

摘要 於1983～1987年間在霧峰（本所）、二崙、學甲、太保等地共八處，探討轉作田秋作玉米之播植行深犂同時深施肥料(in-row subsoiling with deep banding of fertilizers)之效果。深犂・深施處理係使用一種深犂和淺犂所組合之雙層施肥播種機將所需磷鉀肥之全量及氮肥之半量（或⅔量）於播種時，以2：1比例各深、淺施於播植行下深約25公分處及播種溝旁（均使用粒狀複合肥料）；餘半量（或餘⅓量）氮肥則於膝高期追施（使用尿素）。

播植行深犂同時深施肥料之效果在10～30公分土層平均硬度大於 30 bar ，具有顯著犂底層的土壤地點最爲顯著；霧峰四處之試驗，顯示在整地下，其效果較一般施肥法增產子實0.7～1.3 t/ha，增產率達11～25%，氮肥需用量亦可節省20%左右。此種效果之約半可歸因於播植行深犂本身，不同深度之深犂・深施效果亦以25公分深顯著大於其一半深度者。

在本試驗之初期不整地下之播植行深犂・肥料深施效果並未顯著，但經改善播種溝土壤之物理性（即該施肥播種機附加小迴轉犂打碎土塊並予壓實）後效果已顯著提高，接近於整地而行播植行深犂・肥料深施者。

播植行深犂・肥料深施之效果有顯著之土壤間差異；與各地10～30公分剖面土壤之平均硬度有顯著正相關（即與有效土層之厚度成負相關），顯示土壤硬度大、密實或有效土層淺等阻礙作物根系發展係轉作田玉米生長之主要限制因子，值得注意。

關鍵字：轉作田、整地、不整地、播植行深犂、肥料深施、玉米。

稻田因長年在浸水狀態下耕耘，經過長期滲濾物質之聚積及機械之壓實，其土表下20～30公分處常形成硬盤或所謂的犂底層。此種硬盤對於水稻栽培或許利多於弊，對於轉作玉米之生育卻只會構成阻礙。

本省稻田犂底層之存在可由梁氏[11]及郭氏等[12]之報告概見。郭氏等並示不同稻田之底土機械阻力與玉米根系之發展有關。日本公認[7]阻礙根系發展的土壤硬度（soil strength）爲 30 bar，而根羣發達良好土層之硬度應在 10 bar 以下，可見土壤機械阻力或密實性對作物根系發展之重要性。

一般迴轉犂耕耘深度很淺，肥料施用亦淺，而不整地栽培之施肥則以表施爲常。又本省中南部栽培秋作玉米，時值乾旱季節，所施肥料亦頗有隨水分蒸散聚集於地面之虞。

以上將影響玉米根系的發展或導致肥料之損失和玉米生育後期養分吸收之不繼，乃推測肥料如能以深耕犂局部條施於播植行下約25公分處則既有局部破壞犂底，且有導引玉米根系往下發展之功效，而玉米生產潛力亦可能因此提高。

1．臺灣省農業試驗所 研究報告第 1405 號。

2．臺灣省農業試驗所農化系研究員。臺灣省 臺中縣 霧峰鄉。

有關玉米田之播植行深犂（in-row subsoiling)，Naderman 等[5,6] 在美國北卡州，底土有硬盤之土壤曾示其顯著效果，但渠等並未涉及肥料之深施。最近 Baker 等[1] 在美國愛荷華州以一種輪幅注肥機（spoke wheel injector）試驗肥料之點施效果，但其深度僅及10—20公分，並且肥料形態限於液態。在本省 楊等[13,14] 亦示轉作田打破犂底層及肥料深施對玉米之效果，惟渠等係使用中耕機開溝，溝寬較大（20—25公分），相當於局部深耕後之肥料深施，或為全面深耕（深60—70公分）後之肥料深施，與本試驗使用狹窄的深犂（寬僅 4 公分），對土壤之攪動較小，所耗能量較小，同時施肥播種，等有許多差異。

本試驗在開始時亦以人工開溝後深施肥料，惟其溝寬較窄（僅12公分左右），繼而改以深耕犂和淺犂組合之雙層施肥播種機將基肥之三分之二深施於播植行下寬約 4 公分、深約25公分處，而另三分之一基肥則淺施於播種溝旁，並且施肥與播種一次完成。除了此種播植行深犂同時肥料深施（以下簡稱深施）的組合效果外，本試驗亦探討播植行深犂和肥料深施的各別效果，並涉及不同深度之肥料深施，肥料在淺層與深層之分配比率以及不同土壤之深施效果等比較。

試驗材料與方法

1.試驗地點及土壤理化性質

本試驗於1983～1986年間在霧峰本所四處、二崙及太保各一處及學甲二處進行，探討稻田轉作秋玉米（品種臺農 351 號）之播植行深犂 • 肥料深施效果。各試驗地點土壤之一般理化性質如表 1，剖面土壤之硬度如圖 1。

表 1. 土 壤 一 般 理 化 性 質

Table 1. Some properties of the soils at experimental locations.

地點 Location	母質 Parent material	土系 Soil series	土壤平準 Soil horizons	pH	有機質 O. M. (%)	有效磷 Bray P (ppm)	質地 Texture	構造 Structure	結構(乾時) Consistency (when dry)	滲透性 Permeability
霧峰[a] Wu-feng	粘板岩 砂頁岩 混合新冲積	七塊厝系	0—15 15—30 30—60	5.0 6.9 6.9	1.8 1.1 0.8	3.3 2.1 2.3	SiL SiL SiL-SiCL	整體狀 Massive	硬 Hard	中～不良 Moderate to low
二崙 Erh-lun	粘板岩 老冲積	二林系	0—15 15—30 30—60	7.3 7.5 7.6	1.7 1.7 1.5	14.0 15.4 2.3	SL～L SiL SiL	弱，中亞稜塊狀 Weak, medium subangular blocky	稍硬 Slightly hard	中～良 Moderate to well
學甲 1 Shueh-chia 1	砂頁岩新冲積 石灰性	岸內系	0—15 15—30 30—60	6.1 7.5 7.6	1.7 1.0 0.7	24.0 1.4 1.1	SiL SiL SiL	屑粒狀 Crumb	脆 Friable	中～良 Moderate to well
學甲 2 Shueh-chia 2	砂頁岩新冲積 石灰性	將軍系	0—15 15—30 30—60	5.3 7.6 7.6	1.7 0.9 0.6	25.5 1.2 0.7	SiL SiL VfSL	屑粒狀 Crumb	脆 Friable	中～良 Moderate to well
太保 Tai-pao	砂頁岩新冲積	座駕系	0—15 15—30 30—60	5.6 5.7 6.3	1.6 1.3 0.9	37.5 35.0 22.0	SiL SiL SiL	弱，細粒狀 Weak, fine granule	硬 Hard	中～良 Moderate to well

a. 以本所39號田為代表。

由表 1 可見霧峰和太保各試驗地土壤構造均較其他土壤差，屬細粒狀至整體狀；結構亦較硬。由圖 1 更可見霧峰及太保各試驗地土壤之剖面各層硬度均顯著大於其他土壤，而且其最硬層（即犂底層）之位置亦較其他土壤高，亦即其有效土層淺（霧峰本所90號、51號、52號、39號及太保各田之有效

土層均小於15公分），故對於作物根系發展的阻礙亦是較大。反之，二崙，學甲(1)及學甲(2)各田之有效土層均大於50公分，則對於根系發展較爲有利。

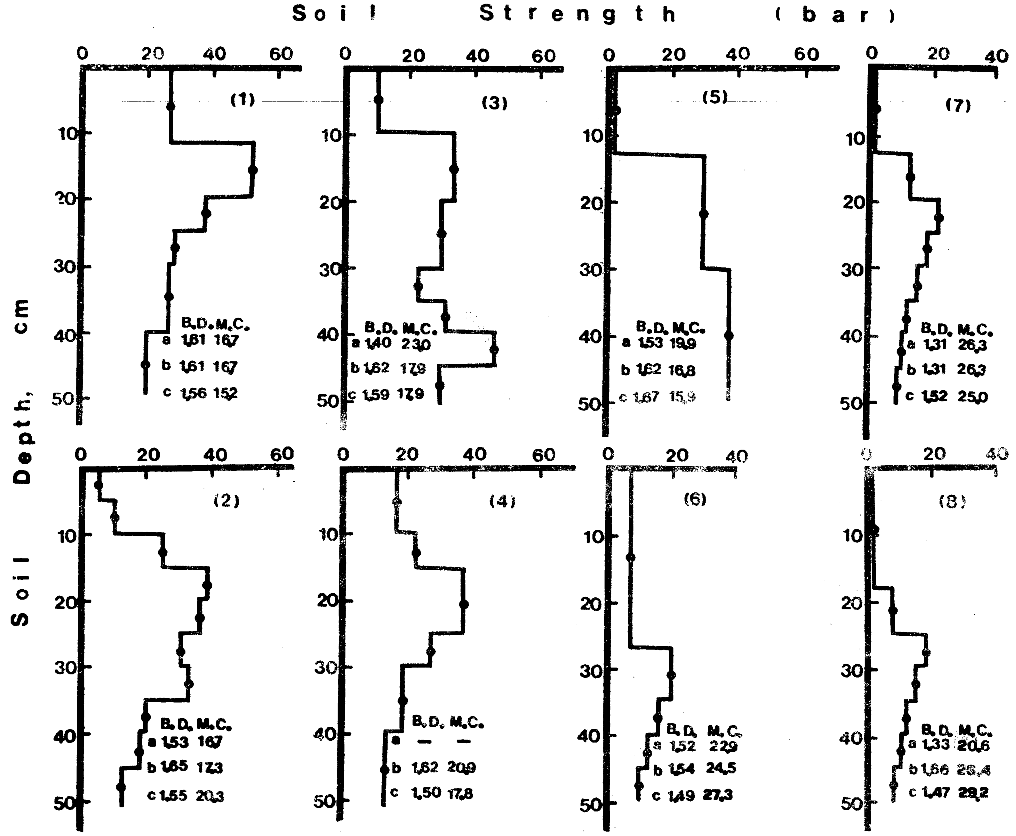

圖 1. 各試驗地剖面土壤之硬度和總體密度（B. D.），及測定硬度時之土壤水分（M. C.）含量（%）。(1)霧峰（本所90號田），(2)同左51號田，(3)同左52號田，(4)同左39號田，(5)太保，(6)二崙，(7)學甲 1，(8)學甲 2 。a, b, c各代表剖面 0—15, 15—30, 30—50 cm 各層土壤。

Fig. 1. Soil strengths and bulk densities of the 0 to 50cm soil depths at each experimental locations, and the moisture content (%) of the soils when soil strengths were measured by penetrometer. The letters a, b and c denote soil layers of 0-15, 15-30 and 30-50cm from the surface, respectively.

2. 試驗處理及設計

試驗一、播植行深犁•肥料深施×栽植密度×氮素用量試驗（霧峰本所39號田，1983年秋作）。

試驗處理爲(1)施肥方法兩種：(a)標準施肥；即依照施肥手册[9]方法，將磷、鉀肥用量之全部和氮肥之一半當基肥，另半量氮肥當膝高期追肥施用。基肥條施於株旁，距種子約5公分，深3～5公分，施後蓋土。(b)深施；三要素用量之半量依照標準方法施用，另半量於播種時條施於播植行下約25公分（寬約12公分）處（施肥溝係人工所開），(2)行株距2變級（70×25及70×20cm）和(3)氮用量3變級（標準施肥區設100, 200, 300 kg/ha，深施區設200, 300, 400 kg/ha各變級）之組合，依次爲主處理及第一、二副處理，裂區排列，二區集。P_2O_5, K_2O 各區均施各200及 100kg/ha，以資充足。小區面積 38.5m^2 (7.7×5m)，11行區。施用肥料種類爲硫銨、過磷酸鈣及氯化鉀，但深施所用肥料則以複合肥料39號爲主。

試驗二、氮素用量×播植行深犂・肥料深施試驗（本所52號田及二崙，1984年秋作）

試驗處理爲氮素用量２變級（N 150 及 225kg/ha）及施肥方法二種：（a）標準施肥(一)；（同試驗一），（b）深施；（施肥方法同試驗一之深施處理，但基肥係使用本所農機系以深耕犂和淺犂所組合的雙層施肥播種機施用；淺層及深層施肥部分之溝深各約５及25公分，寬均約４公分）之組合，依次爲主、副處理，裂區排列，三區集。施用肥料種類同試驗一。

試驗三、整地與不整地及播植行深犂和肥料深施效果（本所51號田，1985年秋作）

試驗分整地及不整地兩部分。整地部分主處理設氮素用量２變級（N 160 及 240 kg/ha）及副處理三種施肥方法，如下：（a）對照(一)；即現行標準施肥方法（同試驗一及二），（b）深施；係使用上述雙層施肥播種機將磷、鉀用量之大部分及氮肥用量之約半量（使用臺肥複合肥料39號）於播種時深施於播植行下約25公分處，同時將小部分肥料（N, P_2O_5, K_2O 各 24, 36, 24 kg/ha）以臺肥複合肥料 39號 200kg/ha 淺施於播植行旁，距離種子約５公分，深約 3～5 公分處。其餘氮肥則於膝高期追施。（c）對照(二)；施肥方法同對照(一)，但雙層施肥播種機操作同處理(二)。故本處理與對照(一)之差別爲播植行深犁（in-row subsoiling）之有無。

不整地部分主處理仍設氮素 2變級（同上），但副處理則僅設（a）對照(一)及（b）深施兩種處理。

試驗設計均爲裂區，２區集。小區面積 140m²（40m×3.5m），即５行區 40m 長。行株距均爲70×25公分。

試驗四、整地與不整地及不同深度之播植行深犂・肥料深施效果（本所90號田，1986年秋作。）

本試驗仍設整地及不整地兩主處理，再於各主處理區設置不同深度之播植行深犂・肥料深施各副處理：即（a）對照；現行標準施肥方法（同試驗一、二及三），（b）播植行深犂・肥料深施 1.；係使用同試驗三之雙層施肥播種機將所需磷鉀肥之全量及氮肥之半量以２：１比例於播種時各深、淺施於播植行下約12.5公分處及播植溝旁，距種子約５公分，深約３～５公分處。餘半量氮肥則於膝高期追施。（c）播植行深犂・肥料深施 2.；除了播植行深犁・肥料深施處理之深度爲 25公分外，餘與處理（b）同。各副處理區施肥量均同（N, P_2O_5, K_2O 各 180, 135, 90 kg/ha）。

在本試驗中各副處理均設二區集，而兩個區集卻均排於同一主區內，故本試驗設計係一種主處理完全逢機之裂區設計（split plot design with main treatments arranged in completely randomized design）。小區面積爲 168m², 6行區，4.2m×40m。栽植密度爲70cm×25cm。

試驗五、播植行深犂・肥料深施效果觀察試驗。

本試驗係在學甲兩試驗地，均在整地下進行。其施肥方法處理僅設（a）對照與（b）播植行深犂・肥料深施兩種，其處理內容各與試驗四之（a）和（c）處理相同，各設３重覆。小區面積爲 315m²，15行區 10.5m×30m。栽植密度爲 70cm×28cm。

試驗六、播植行深犂及基肥在深、淺層之不同條施比率效果試驗。

本試驗在太保以整地下進行。施肥方法處理設下列三種：（a）對照；係用標準施肥方法（同以上各試驗），（b）播植行深犁・肥料深施１；使用雙層施肥播種機將所需磷鉀肥之全量及氮鉀肥之⅔量以２：１比例於播種時各條施於播植行下約25公分處及播植溝旁，餘⅓量氮、鉀肥則於膝高期追施，（c）播植行深犁・肥料深施 2；除了基肥在深、淺層之分配比率調整爲 1：1外，其餘與處理（b）相同。各處理區要素總用量均爲 N, P_2O_5, K_2O 各 180, 90, 90 kg/ha，均設三區集。小區面積爲 105m²，6行區 4.2m×25m。本次試驗因播種機稍有缺失，致缺株較多，實際行株距平均爲70×28.5cm。

3.調查方法：

（１）於吐絲期自各小區採取植株各４株（密植區採６株），測定葉、莖、穗等器官之乾物重量及三要素含量，並以田中氏等[8]所述方法測定葉面積指數。

（2）於收穫期去除邊行後測定區內之子實及全植株乾物重量，平均每穗粒數和千粒重等。

（3）於收穫期試坑，調查剖面各層土壤之導電度（水：土＝5：1），硝酸含量及根點數。根點數係依據 Böhm 氏方法[2] 所測。土壤剖面各層硬度（一種穿刺阻力）係使用山中式土壤硬度計所測。有效土層亦稱有效根羣域，係根可以伸長的土層厚度，一般以地表至硬層（硬度大於 30 bar 厚10公分）或至母岩的土層厚度表示[7]。

試驗結果

各試驗結果如表2,3,4,5及6.

表2. 整地下，播植行深犂・深施、栽植密度、氮素用量對玉米生育、收量之效果（試驗一、本所39號田，1983年秋作）。

Table 2. Effects of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers, different densities and N rates on the growth and yield of corn under tilled condition. (Experiment 1, Wu-feng, fall crop 1983).

Treatment	Placement	對照 Ordinary			播植行深犂・深施 In-row subsoiling・deep banding		
	N (kg/ha) / Density	100	200	300	200	300	400
Grain yield[a] (t/ha)	D_1[b]	5.21	6.36	6.50	6.68	7.18	6.69
	D_2	5.32	6.37	6.66	7.49	7.19	7.12
LAI at silking	D_1	2.27	2.82	2.87	2.77	3.05	3.01
	D_2	2.40	3.18	3.61	3.50	3.52	3.60
D. W. (t/ha) at silking	D_1	4.43	5.29	5.28	4.24	4.80	6.26
	D_2	4.19	5.58	7.01	5.69	5.93	5.14
D. W. (t/ha) at maturity	D_1	9.6	11.0	11.3	12.3	13.1	12.8
	D_2	11.1	10.5	12.0	12.4	13.0	13.1
Percentage in leaves at silking (mean of D_1&D_2)	N	2.75	3.08	3.19	3.17	3.32	3.36
	P	0.22	0.24	0.25	0.25	0.26	0.26
	K	2.55	2.27	2.43	2.49	2.40	2.43
Grain no./m^2 $\times 10^3$	D_1	1.97	2.41	2.36	2.51	2.57	2.49
	D_2	1.97	2 38	2.53	2.73	2.66	2.71
1,000 grain wt. (g)	D_1	265	264	276	267	279	270
	D_2	271	268	263	275	271	263

a 每數據均爲2區集之平均值。NPK 含量各數據則爲2種栽植密度，各3區集，共6區集之平均值。

b D_1 及 D_2 各代表栽植密度5.71及7.41 株 /m^2 ，即行株距各爲70×25 及 70×20cm。

試驗一栽植密度與氮肥之連應業於前報[10] 討論。因本文討論重點在於播植行深犂・肥料深施之效果，乃將表2不同栽植密度（D_1D_2）之各處理收量加以平均以便比較，如圖2。

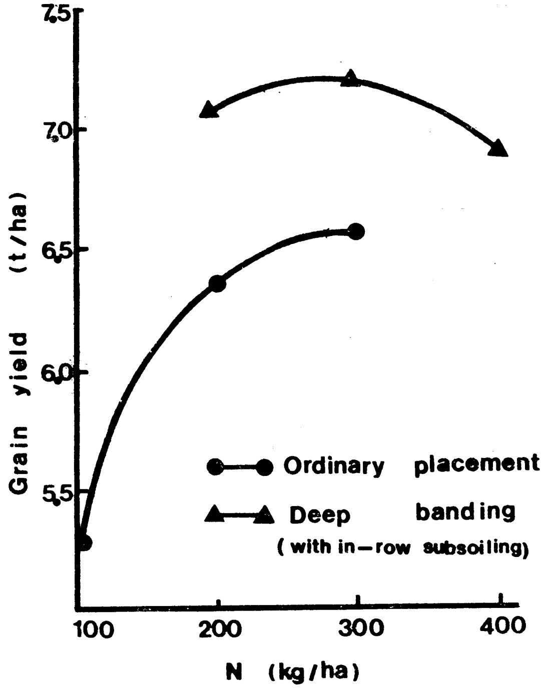

圖2.霧峰玉米收量對氮素用量和播植行深犂・肥料深施之效應（霧峰，臺農351號，1983秋作）。

Fig. 2. Nitrogen responses under two methods of fertilizer placement. (Mean of two spacings each with two replications, TNG 351, 1983 fall crop, Wu-feng).

表3. 整地下，播植行深犂・深施對玉米收量之效果及土壤間差異（試驗二、本所52號田及二崙，1984年秋作）

Table 3. Effect of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers on corn yield under tilled condition, and the locational difference. (Experiment 2, Wu-feng and Erh-lun, fall crop 1984)

Location / N (kg/ha) / Placement	霧峰			二崙		
	150	225	Mean	150	225	Mean
對照 Ordinary	5.97[b]	5.99[b]	5.98[b]	5.85[a]	5.89[a]	5.87[a]
播植行深犂・深施 In-row subsoiling・deep banding	6.65[a]	6.63[a]	6.64[a]	5.81[a]	6.26[a]	6.04[a]

同一直列數據中字母不相同者表示差異達5％顯著性。以下各表均同。

Data with different letters within the same column are significantly different at 5% level. The same is applicable to the following tables.

表4. 整地與不整地下，播植行深犂和肥料深施對玉米收量之效果（試驗三、本所51號田，1985年秋作）

Table 4. Effects of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers on corn yield under tilled and no-tilled conditions. (Experiment 3, Wu-feng, fall crop 1985)

Tillage / N (kg/ha) / Placement	整地 Tilled			不整地 No-till		
	150	210	Mean	150	210	Mean
對照 Ordinary	4.65^{c}	4.77^{c}	4.71^{c}	4.73^{a}	4.95^{a}	4.84^{a}
播植行深犂・深施 In-row subsoiling・deep banding	5.53^{a}	5.81^{a}	5.67^{a}	5.19^{a}	4.95^{a}	5.07^{a}
播植行深犂，但施肥法同對照 In-row subsoiling・ordinany placement	5.01^{b}	5.32^{b}	5.17^{b}	4.93^{a}	4.79^{a}	4.86^{a}

表5. 整地與不整地下，不同深度播植行深犂・深施對玉米收量和收量構成要素之效果（試驗四、本所90號田，1986年秋作）

Table 5. Effect of different depths of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers on the yield and yield components of corn under tilled and no-tilled conditions. (Experiment 4, Wu-feng, fall crop 1986).

Placement	收量 Yield (t/ha)			子粒數 $10^3/m^2$ grain no. $10^3/m^2$		千粒重 (g) g/1,000 grains	
	整地 Tilled	不整地 No-till	Mean	整地 Tilled	不整地 No-till	整地 Tilled	不整地 No-till
對照 Ordinary	4.95^{c}	5.62^{b}	5.28^{c}	1.78	2.07	277	282
播植行深犂・深施 深度25公分 In-row subsoiling・deep banding, depth 25cm	6.61^{a}	6.58^{a}	6.59^{a}	2.40	2.27	284	286
播植行深犂・深施 深度12.5公分 ibid, depth 12.5cm	5.73^{b}	6.32^{ab}	6.03^{b}	2.00	2.19	279	281

表6. 整地下，播植行深犂・深施在學甲二土系地點對玉米收量（t/ha）之效果（試驗五，學甲1986年秋作）

Table 6. Effect of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers on corn yield (t/ha) under tilled condition at Shueh-chia. (Experiment 5, Shueh-chia, fall crop 1986).

Location / Placement	學甲 1（岸內系）	學甲 2（將軍系）
對照 Ordinary	5.95^{a}	5.94^{a}
播植行深犂・深施 In-row subsoiling・deep banding	6.00^{a}	5.75^{a}

表7. 整地下，播植行深犂及基肥在深、淺層不同條施比率之效果（試驗六，太保，1987年秋作）

Table 7. Effects of in-row subsoiling with different ratio of fertilizer banding to the subsurface and subsoil layers under tilled condition. (Experiment 6, Tai-pao, fall crop 1987).

Fertilizer treatment		Grain yield	
Placement	Ratio subsurface:subsoil	t/ha	Index
對 照 Ordinary	—	3.6[b]	100
播植行深犂・深施 In-row subsoiling・deep banding	1:2	4.15[a]	115
同 上 ibid	1:1	3.63[b]	101

由以上結果（表1－7及圖2）可見，播植行深犁同時深施肥料之效果在霧峰各田及太保非常顯著，而其他地點則否。效果之顯現與否與土壤性質及深犁之程度有關。爰將有關玉米生育性狀和土壤因子分別敍述，加以討論。

討　論

1.播植行深犁・肥料深施對玉米收量之效果及有關生育性狀。

播植行深犁・肥料深施之處理（簡稱深施處理）在霧峰本所 39 、 52 、 51 和 90 號田均較對照區（標準施肥方法）顯著增產；增產量各達 715（表2及圖2），680（表3），960（表4整地區）及 1310（表5整地與不整地平均）kg/ha，增產率各達11,11,20及25%。深施區之氮肥效率亦較對照區顯著的高；氮需要量較對照區約可節省 50 kg/ha ，合施肥量之約 20%，如圖2所示。另一試驗[4]以 N^{15} 標識氮肥探討氮肥利用率，結果亦示深施區之利用率較對照區爲高，在氮素用量 200 kg/ha 下各爲36及24%。

深施處理在太保一地亦有顯著效果（增產率達15%），惟深施處理在二崙、學甲等地則效果並未顯著（表3及6）。

楊等[13,14]亦示轉作田之肥料深施對玉米之顯著效果，惟渠等係使用中耕機開溝，溝寬較大（20～25公分），相當於局部深耕後之肥料深施，或爲全面深耕（60～70公分）後之肥料深施，與本試驗使用狹窄的深犁（寬僅4公分），對土壤之攪動較小，所耗能量較小，同時施肥播種，等有許多差異。

爲施行深施處理，本試驗係使用一種以深耕犁和淺犁所組合之雙層施肥播種機將所需磷、鉀肥之全量及氮肥之半量於播種的同時，以2：1比例各深、淺施於播植行下深約25公分處及播種溝旁，餘半量氮肥則於膝高期追施（試驗一及二在基、追肥比率上略有差異）。對照區之施肥亦以所需磷、鉀肥之全量及氮肥之半量當基肥，但係使用一般施肥播種機將之淺施於播種溝旁；或挨玉米苗長出後以人工淺施於株旁；餘半量氮肥亦於膝高期追施。故深施處理與一般施肥之差異在於深耕犁行走時所增耗的能量。據估計本試驗70公分行距，行寬4公分、深25公分（土壤硬度平均29 bar）之播植行深犁，每公頃約需增耗 406,000 K Jole 能量，相當於柴油39.4公升（實驗值與估計值亦相當符合），折算新臺幣爲430元，相當於現今收購價格之玉米約30公斤。由於本試驗顯示深施處理平均可以增產玉米900 kg/ha，故此項能量之消耗應甚值得。

深施區之玉米生育自膝高期即較對照區略優，而這種差異於吐絲期以後更加顯著；就同一氮肥用量而言，吐絲期深施區之 LAI 較對照區差異不多（表2），但吐絲期～成熟期間單位 LAI 所獲乾

物量（△W/LAI）則深施區顯著於對照區；玉米之氮、磷吸收量亦以深施區顯著高於對照區，而其在吐絲期～成熟期間之差異顯著大於吐絲期以前者，此等關係業於前報[10]討論。故同一 LAI 玉米羣體所獲收量以深施區顯著高於對照區（圖 3 上）。

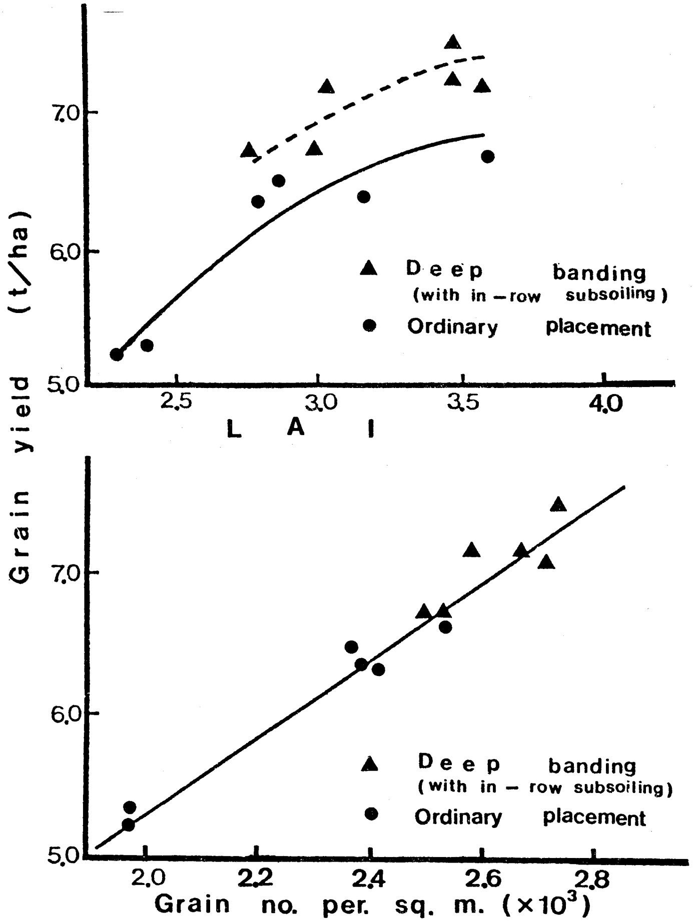

圖3. 玉米收量與吐絲期葉面積指數及收穫期單位面積子粒數之關係及播植行深犁・深施之效果（，霧峰1983秋作）

Fig. 3. Relation between grain yield and leaf area index (LAI) at silking stage and grain no./m² under two methods of fertilizer placement (TNG 351, 1983 fall crop, Wu-feng).

由圖 1 霧峰土壤剖面之硬度分布判斷25公分深程度之播植行深犁只能局部破壞犁底層，但由圖 4 可見此程度之播植行深犁・肥料深施已對玉米根系之發展獲有相當良好的效果。由該圖可見，就玉米植株兩側各 0～15公分範圍之土壤剖面而言，深施區之養分（以導電度表示；據另測結果導電度與硝酸含量有正相關關係）分布顯然較深；以深15～25公分處養分濃度最高，並及於深30～35公分處。對照區之養分分布較淺；高濃度之養分聚積於 0～10公分表層。各土層之根數亦與該土層之養分濃度有密切正相關；對照區之根系顯然較淺而深施區則反之。

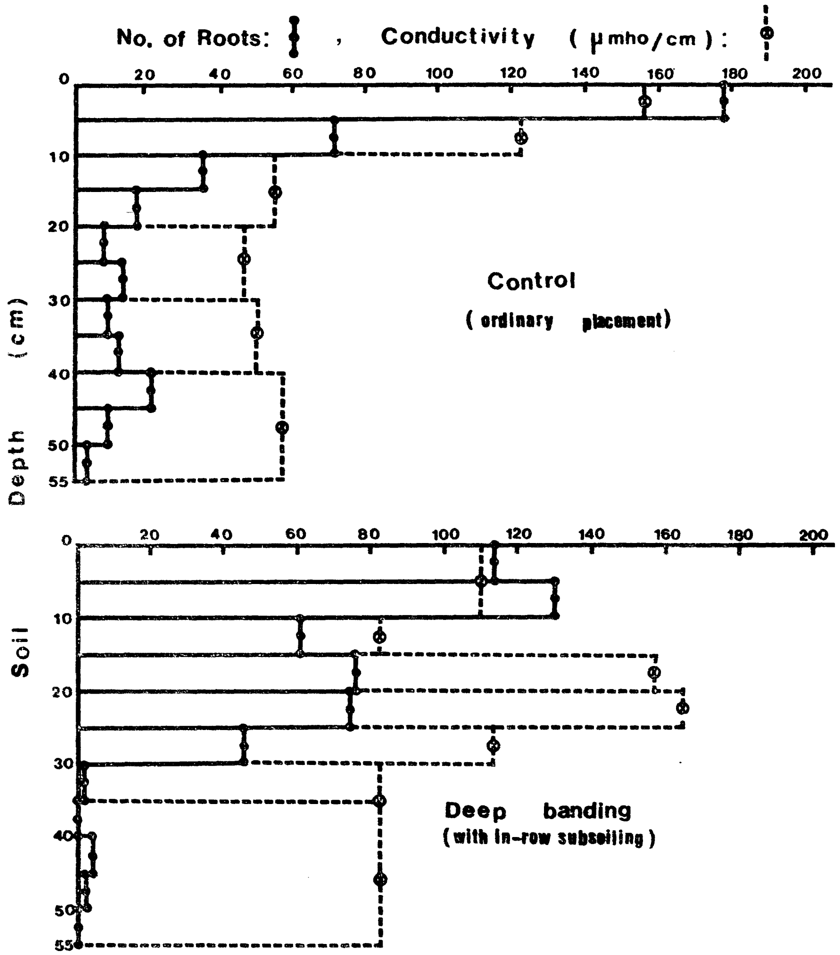

圖4. 肥料深施區及對照區植株旁0～15公分土壤剖面玉米根分布與養分濃度（以水土比5：1之導電度表示）之關係。（霧峰，1986秋作，收穫期）

Fig. 4. Distribution of roots associated with that of nutrient concentration (measured as conductivity of the soil extract) in two soil profiles with and without in-row subsoiling・deep banding of fertilizers. (Wu-feng, at harvest, fall crop 1986).

以上結果顯示播植行深犁・肥料深施可顯著促進根系往底土之發展，使自吐絲期前後以至成熟期之氮、磷吸收量顯著增加，因此該期間之葉片純同化率顯著增加，而使單位面積之谷粒數顯著增加（圖3下及表5），終致子實收量之顯著增產。

2.播植行深犁和肥料深施效果之比較。

表4示在整地下，播植行深犁較對照區增產子實10%，而播植行深犁與肥料深施之綜合處理則較對照區增產20%，可見播植行深犁・肥料深施之效果至少有一半應歸功於播植行深犁（in-row subsoiling）。

3.不同深度播植行深犁・肥料深施效果之比較。

表5示深度25公分之播植行深犁・深施較對照區平均增產25%，而其一半深度之處理則只增產14%；深度25公分處理之增產效果顯著優於其一半深度者，可見播植行深犁・深施之推薦應暫以不小於25公分爲宜。

由圖1剖面土壤之硬度分布可以推測深度大於25公分之播植行深犁•深施效果可能高於深度25公分者，但因顧及所耗能量較大及所使用之施肥播種機限制，本試驗並未作一步之探討。

4.整地與不整地下播植行深犂•深施之效果。

表4曾示，深施處理之增產效果在整地下非常顯著，而在不整地下則否。其原因可能與深耕犁行走時掀起底土土塊，影響苗床之物理性有關。經改善播種溝土壤之物理性（所使用之雙層施肥播種機附加破土輪打碎土塊並予壓實）後其效果已顯著提高，接近於整地者，如表5之結果所示。

據 Naderman 等[5,6]播植行深犂在中質地底土中存有硬盤之地區可顯著促進玉米根系在土中之伸展，改善養、水分吸收而獲得增產。此種播植行深犂在底土較粘地區，效果卻適得其反，因會掀起土塊影響苗床物理性故。

5.不同土壤之播植行深犂•肥料深施效果。

由以上試驗結果可見肥料之深施處理在霧峰（本所）四處及太保一處均獲增產效果，但在二崙一處及學甲兩處卻否(如表3及6)。由圖1可見霧峰及太保之土壤剖面硬度顯著高於二崙或學甲之兩種土壤；土壤之硬度以及犁底層之存在亦以霧峰和太保最爲顯著，而且位置最高，而二崙和學甲則否。霧峰和太保之耕土和犁底層硬度均已超過一般公認之作物根伸長阻礙之機械阻力 (30 bars)[7]，更遠超過所謂之作物根羣發達良好層的條件[7]（硬度＜ 10 bar，固相率＜52～53，水分率＞18～23，空氣率＞13～17），雖然 Gerard 等[4]更指出不同質地土壤阻礙作物根伸長之機械阻力臨界值，互有很大差異 (25-70 bar)。

土壤硬度係土壤之粒徑組成、密實性和水分狀態的綜合表現[15]，關係土壤的孔隙量、有效水分含量和根伸展的機械阻力，爲根系能否良好發展的重要指標；即土壤硬度大，不單對根伸長之機械阻力大，其密實性亦可能阻礙根的呼吸和養分的擴散速率以致根的伸展受阻（蓋土壤硬度大、總體密度大、孔隙率小），但無論經由何種途徑，土壤硬度大於上述限值（30 bar）的土層（即硬層）在剖面出現的位置會嚴重影響作物根的發展或限制其發展之空間（即有效土層或有效根羣域深）則爲事實，更何況據報告[7]，即在有效土層內，其土壤硬度如大於 10 bar 亦已對根系的良好發展不利。故以10—30公分土層之平均硬度或硬度大於 30 bar 的硬層位置（即有效土層厚度）作爲根系發展的土壤物理性指標，甚爲實際而且重要。

土壤硬度一般係以硬度計（如山中或硬度計）測之，其測值雖受土壤水分含量之影響很大，但實際上因其測定都在田間容水量上下的安定狀態爲之，故除特殊情形外，並不需多慮水分差異的影響[15]。即使水分含量有影響，如該水分狀態亦是該土壤的常態特質，則該水分狀態下所測土壤硬度亦具實際意義[15]。

圖1示霧峰和太保之土壤硬度均大而且犁底層（硬層）之位置亦較高（地面下15公分左右），田間實際觀察其根系亦侷限於 0-15公分表層，而深施處理則可使植株旁寬 10-20公分、深 20-30公分範圍的土壤硬度減小，玉米根系在該範圍內亦有顯著的發展（圖4），故對玉米生長，尤其是後期之養分吸收有利。

至於二崙和學甲兩處土壤則其硬度較小，而且其有效土層均大於50公分。其作物根在正常狀態下已可伸展到20—25公分土層，故再以20—25公分程度之深施處理當不致收到顯著效果。二崙一地下不需肥料之深施處理，只需在適當的栽植密度與肥料量的配合下即可獲得接近 9 t/ha 之高產，前報[10]已予討論。

不同地點之深施效應與各地 10-30公分土層之平均硬度有顯著正相關，如圖5所示，顯示土壤硬度大或有效土層淺阻礙玉米根系發展乃轉作田玉米生長之主要限制因子。故今後有關技術之推廣及耕耘制度之進一步研究均應注意及土壤硬度及其在土層的位置以期更大效果。

本省土壤調查報告中有效土層（有效根羣域深）、根羣發達良好土層（主要根羣域深）等有關作物立地條件之資料甚缺。此等項目在日本土壤調查和土壤診斷中早已列爲旱田生產力的重要指標。鑑

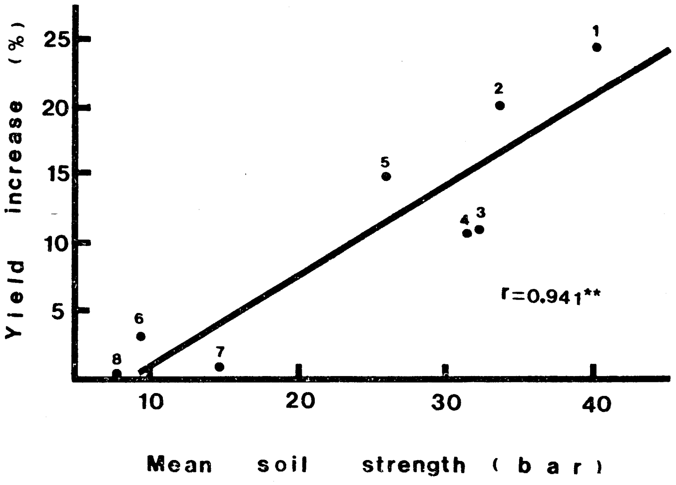

圖5. 各地10—30公分剖面土壤之平均硬度與播植行深犂・深施效應之關係。符號 1～8，詳 圖 1 。(TNG 351, 1983～1987 秋作）。

Fig. 5. Relationship between mean soil strength of 10-30cm profile and percentage yield ressponses to in-row subsoiling • deep banding (TNG 351, 1983-1987 fall crops).

於本試驗所示有關性質在旱田生產力之重要性，今後有關資料之補充以及其基準之進一步檢討應甚重要。

6.播種行深犁及基肥在深、淺層不同條施比率之效果。

以上各試驗之播種行深犁•肥料深施處理係播種時使用雙層施肥播種機，將基肥分２：１比例各條施於深層（即播植行下約25公分處）及淺層（即播植溝旁）者。太保試驗地之結果（表７）亦顯示其效果顯著，但同試驗中基肥分各半條施於深層及淺層者，效果卻顯然不如分２：１比例條施者；可見多量氮肥一次淺施，其損失機會顯然較大。

誌 謝

本試驗經費承農業委員會農建計畫補助，所用變層施肥播種機承本所農機系黃禮棟先生配合研製，田間試驗承本系向爲民先生協助，謹致謝忱。

參考文獻

1. Baker, J. L. and D. R. Timmons. 1984. Effect of method, timing, and number of fertilizer applications on corn yield and nutrient uptake. P. 197. Agronomy Abstract. 1984 Annual Meetings.
2. Böhm, Wopfgang. 1979. Method of Studying Roots Systems. Springer-Verlag, N. Y., USA.
3. Gerard, C. J., P. Sexton and G. Shaw. 1982. Physical factors influencing soil strength and root growth. Agronomy J. 74 : 875-879.
4. Lian, S. 1986. Characteristics of corn production in the drained paddies and their fertility managements in Taiwan. P. 65-92. Soils and Fertilizers in Taiwan 1986.
5. Naderman, G. C. and G. W. Randall. 1984. Tillage for corn production on the Coastal Plain. P. 5-7 in Corn Production Systems: 1984 Coastal Plain Supplement. The North Carolina Agri. Extension Service, Raleigh, N. C.
6. Naderman, G. C. 1986. Subsurface Compaction & Subsoiling in North Carolina, An Overview. The

North Carolina Agricultural Extension Service. Raleigh. N. C.

7. 三好洋・1972・根群發達の良好な土壤條件からみた畑地の有效土層檢討（第一報）。日本土壤肥料學雜誌43（3）：92—97。

8. 田中明、山口諄一、藤田耕之輔・1969・トウモロコシの營養生理學的研究（第3報），窒素施與量および栽植密度が乾物生産と子實收量に與える影響。日本土壤肥料學雜誌40：498—503。

9. 行政院農業發展委員會，臺灣省政府農林廳編印（1983修訂），作物施肥手册 P. 35-39.。

10. 連 深、王鐘和・1988・轉作田玉米生育特性及肥培管理，1.子實收量之期作間和土壤間差異及有關因素。中華農業研究37（1）32—46：。

11. 梁鉅榮・1977・臺灣水稻田土壤之生育及其特質。中華農學會報（新）XCV11, 61～75。

12. 郭鴻裕、林登鴻、向爲民・1985・玉米根系分布與土層硬度之關係。臺灣省農業試驗所民國七十四年年報。

13. 楊策群、朱德民、陳世雄・1935・水田轉作玉米之土壤物理性改良對策。P. 167-190，七十四年度土壤肥料試驗示範報告（糧食作物），臺灣省政府農林廳。

14. 楊策群、朱德民、陳世雄・1986・稻田轉作玉米土壤物理性改良與肥料管理研究，P. 214-234，七十五年度土壤肥料試驗示範報告（糧食作物），臺灣省政府農林廳。

15. 山中次郎、松尾憲一・1962・土壤硬度に關する研究 1.土壤硬度と含水量との關係。日本土壤肥料學雜誌33（7）：343—347。

Characteristics of Corn Production in the Drained Paddies and Their Fertility Managements

2. Effect of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers

S. Lian

Summary

Effects of in-row subsoiling with deep banding of fertilizers were tested on eight locations of drained paddies which differ in compactness in the subsoils during 1983~1987. The subsoiling with deep banding of fertilizer was conducted by a mechanized planter • fertilizer applicator attached with subsoilers so that 2 : 1 portions of the basal fertilizers were banded simultaneously to the depth about 25cm beneath and 5cm beside seed rows, respectively. The basal fertilizers consisted of the total amount of phosphate and potassium fertilizers and one half (or two third) of the nitrogenous fertilizer required for the crop. The remainder half (or the remainder one third) of the nitrogen was applied as top dressing at the knee-high stage.

The effect of in-row subsoiling with deep banding was found generally significant in the drained paddies diverted for corn production; An yield increase of 0.7~1.3 t/ha, corresponding to 11~25% of the check yield as well as a higher fertilizer efficiency which save about 20% of the nitrogenous fertilizer were obtained in the paddies with high soil strength (mean penetrometer resistance greater than 30 bars) and significant plow pan in the 10~30cm stratum.

About one half of the effect was attributed to that of subsoiling itself and the effect of 25cm subsoiling was superior than that of 12.5cm.

The effect of in-row subsoiling with deep banding, however varied considerably among locations; There was a significant positive correlation between the mean strength of 10-30cm layer soil and the yield response to the in-row subsoiling with deep banding of fertilizers, indicating that either mechanical resistance or compactness of the soil that restrict root development is a main factor limiting the growth of corn in the drained paddies.

keywords: paddy field diversion, corn production, tillage, no-tillage, in-row subsoiling, deep banding of fertilizers.

---

1. Contribution No. 1405 from Taiwan Agicultual Research Institute.
2. Soil scirntist, Departmant of Agricultual chemistry, TARI, Wu-feng, Taichang, Taiwan, R, O. C,